

中国小水电

可持续发展理论与实务研究

主 编 乔海娟 张丛林

副主编 董磊华 欧传奇 杨威杉 段永刚



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国小水电

可持续发展理论与实务研究

主 编 乔海娟 张丛林

副主编 董磊华 欧传奇 杨威杉 段永刚



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

· 北京 ·

内 容 提 要

本书全面回顾了中国小水电的发展历程，总结了小水电的发展模式与成功经验，并尝试从电站、国家和国际三个层面对中国小水电开展研究，主要包括中国小水电的历史发展与成就、中国省域小水电发展水平的时空演变规律研究、中国小水电安全生产标准化、中国绿色小水电的发展、中国小水电发展的科技支撑、中国小水电参与“一带一路”倡议等内容。

本书可供农村水电行业有关管理部门，科研、设计、施工等单位和大专院校作为研究资料，也可供农村水电行业广大管理干部、科技工作者和技术人员借鉴参考。

图书在版编目（C I P）数据

中国小水电可持续发展理论与实务研究 / 乔海娟，
张丛林主编. -- 北京：中国水利水电出版社，2020.8
ISBN 978-7-5170-8855-4

I. ①中… II. ①乔… ②张… III. ①水力发电站—
可持续性发展—研究—中国 IV. ①F426.61

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第171302号

审图号：GS（2020）2675号

书 名	中国小水电可持续发展理论与实务研究 ZHONGGUO XIAO SHUIDIAN KECHIXU FAZHAN LILUN YU SHIWU YANJIU
作 者	主 编 乔海娟 张丛林 副主编 董磊华 欧传奇 杨威杉 段永刚
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址：www.waterpub.com.cn E-mail：sales@waterpub.com.cn 电话：(010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心（零售） 电话：(010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	清淤永业（天津）印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 10.5印张 206千字
版 次	2020年8月第1版 2020年8月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	58.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

本书编写人员名单

- 主 编：**乔海娟（水利部农村电气化研究所）
张丛林（中国科学院科技战略咨询研究院）
- 副主编：**董磊华（中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司）
欧传奇（国际小水电中心）
杨威杉（生态环境部环境规划院）
段永刚（浙江水利水电学院水利与环境工程学院）
- 参 编：**（按姓氏笔画排序）
王军强（水利部农村电气化研究所）
龙 岩（河北工程大学）
杨 树（中国港湾工程有限责任公司）
吴 贵（江苏省招标投标办公室）
张 军（水利部农村电气化研究所）
陈伟毅（杭州市城市规划设计研究院）
郑施涵（浙江工业大学）
徐 伟（沈阳农业大学）
黄 洲（湖州市城市投资发展集团有限公司）
黄 飞（中国电建集团北京勘测设计研究院有限公司）
彭常青（浙江省水利水电勘测设计院）

序一

小水电是一种国际公认的清洁可再生能源，其资源分布点多、面广、量大，具有开发技术成熟、淹没和移民少、环境影响可控、投资效益较高、电力供给可靠、运行维护简便等明显优势。对于边远贫困地区，开发应用小水电是发展当地经济、增加属地就业、实现本地解困扶贫、保障能源安全的理想解决方案。因此，一直以来，联合国开发计划署、联合国工业发展组织、全球环境基金等国际组织和国际机构始终大力鼓励和支持小水电绿色开发，以促进世界经济、社会和环境的包容可持续发展。

新中国成立 70 年来，中国小水电得到了长足发展，总装机容量从 1949 年的 36.34 万 kW 发展到 2018 年的 8043.5 万 kW，增加了 220 多倍，为中国农村经济社会发展发挥了巨大推动作用。同时，中国小水电行业在河流规划、电站设计、工程施工、设备制造、运行维护等各方面积累了丰富的实践经验，并通过国际小水电中心、亚太地区小水电研究培训中心等国际交流与合作平台，为世界小水电发展提供了中国方案、贡献了中国智慧，被誉为“南南合作的典范”。

该书介绍了中国小水电发展历程和发展经验，探讨了中国小水电省域发展水平评价方法、“一带一路”沿线国家小水电可持续性评价体系等理论问题，分析了中国小水电安全生产标准化创建、小水电绿色发展举措等实务经验和实践案例，提出了中国小水电科技发展思路和发展理念以及参与“一带一路”倡议的政策建议等。该书内容涉猎面广、知识量大，在理论和实用上具有较大的参考价值，可为发展中国家的小水电开发提供经验借鉴。同时，该书的出版有

利于促进国内外小水电同行加深相互了解、加强交流合作。特为之作序。

联合国工发组织国际小水电中心主任、党委书记：



2019年8月

序二

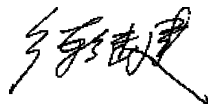
水电作为当今世界技术最成熟、开发最经济、调度最灵活的清洁绿色能源，在全球能源供应体系中发挥着重要作用。小水电因其投资较少、工程规模较小、维护运营简单、适合农村和偏远地区分散开发而备受国际环保组织和众多发展中国家的青睐。

中国至今已有百余年的小水电开发史，尤其是新中国成立以来，在中央政府的支持和倡导下，中国小水电实现了大规模快速发展，且通过积累经验，逐渐走出了一条极具中国特色的小水电发展之路。

在国际方面，中国逐步在小水电的技术出口、劳务、机电设备等方面实现了“走出去”，逐步培育了小水电开发的国际市场。与此同时，在“一带一路”倡议的推动下，中国小水电更为积极主动地参与国际小水电开发，尤其是参与小水电国际标准和规范的制定，极大地提升了自身的国际话语权，并在全球应对气候变化、减贫等方面发挥了积极的影响。

该书总结了中国小水电发展的历史与经验，同时在中国省域小水电发展水平的时空演变规律、小水电绿色发展及科技支撑等方面进行了有益的探索。希望该书能为中国小水电从业人员提供一定的借鉴。特为之作序。

河北工程大学副校长：



2019年6月

序三

中国小水电从云南石龙坝水电站起步至今，已经走过了百条年历程。新中国成立 70 年来，在中央政府的倡导和支持下，得到了大规模快速发展，积累了丰富的经验，走出了一条中国特色的小水电发展之路。

截至 2018 年年底，全国共有小水电站 46515 座，农村水电总装机容量达到 8043.5 万 kW，占全国水电总装机容量的 22.8%，占全球小水电总装机容量的 51%。

小水电的发展，在国家电网尚未覆盖全国之前的相当长的历史时期中，对边远山区农村电气化和地方经济发展以及消除贫困等方面起了不可忽视的作用，得到了国际社会的高度评价和广泛赞扬。在小水电国际交流、合作和培训方面，也取得了杰出成绩，被联合国有关机构誉为“南南合作的典范”。近年来，在绿色开发方式，保护和促进生态环境方面也取得了明显的效果。对这些丰富的经验，国内已经有大量著作和文集进行了总结和研究，形成了丰富的小水电资料库。

该书在此基础上进一步总结了我国小水电发展的全过程和取得的成就与经验，并对一些理论问题进行了探索，包括绿色发展问题、科技支撑问题，以及如何结合“一带一路”走出去的问题，特别是用数学模型量化省域小水电发展水平综合评价，在小水电发展的理论研究方面迈出了创新性的一步，令人耳目一新。量化计算小水电的社会、经济、生态效益的问题是多年来的热议课题，长期没有解决，该书在这方面的探索可能为解决这些问题闯出一条可行的路子。

该书作者勇于探索，大胆创新的学术研究风格值得鼓励，希冀

能够引发小水电发展理论研究多元化、数字化的学术氛围。

因此，推出这本书很有意义，乐于为之作序。

水利部农村电气化研究所终身名誉所长：朱群

2019年6月



前言

继 2018 年我们迎来改革开放 40 周年后，2019 年我们又隆重迎来了新中国成立 70 周年华诞。伴随着新中国的建设发展和改革开放，我国的小水电事业走过了极不平凡的 70 年，在历经艰难险阻的同时也取得了辉煌瞩目的成就。为保存我国小水电发展的珍贵史料，总结过去的大量经验教训并探索未来的发展方向，我们编写了《中国小水电可持续发展理论与实务研究》一书。

全书共分 7 章，第一章“中国小水电的历史发展与成就”简要介绍了中国小水电的发展历程与成就，对中国小水电的发展模式与经验进行了总结；第二章“中国省域小水电发展水平的时空演变规律研究”针对中国农村水电的省域发展水平评价及其空间格局演变等问题从综合、可持续的角度来开展研究，分析中国农村水电发展水平的空间分布特征，对其发展格局进行划分，探寻其演化过程及原因，并对中国省域小水电发展趋势进行了预判；第三章“中国小水电安全生产标准化”就中国小水电安全生产标准化的发展进行了介绍；第四章“中国绿色小水电的发展”对中国小水电绿色发展理念进行了阐述，并对绿色水电评价的标准及案例进行了说明；第五章“中国小水电发展的科技支撑”阐述了中国小水电科技发展的总体历程与存在的问题，并提出未来中国小水电科技发展的总体方向与科技发展路线图；第六章“中国小水电参与‘一带一路’倡议”通过构建数学模型，明确未来中国小水电行业优先参与“一带一路”倡议的重点区域；第七章“结论与展望”总结了小水电发展的

特征及发展方向。

本书数据除特殊说明外，均不包含我国香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省的数据。《中国小水电可持续发展理论与实务研究》夹叙夹议，有史有论，力求真实反映中国小水电发展的整体全貌。在本书付梓之际，谨向长期支持我国小水电发展的各界人士，致以真诚的谢意！本书由于历史跨度较大，专业性较强，涉及内容广泛，地域特色不一，加之编者水平有限，难免有不妥之处，热忱欢迎广大读者对本书提出宝贵意见和建议。

编者

2019年12月



目录

序一

序二

序三

前言

第一章 中国小水电的历史发展与成就	1
第一节 中国小水电的发展历程	1
第二节 中国小水电的发展模式与经验	21
第二章 中国省域小水电发展水平的时空演变规律研究	30
第一节 中国省域小水电发展概况	30
第二节 中国省域小水电发展水平评价方法	32
第三节 中国省域小水电时空演变规律分析	40
第四节 中国小水电发展布局研究	52
第三章 中国小水电安全生产标准化	55
第一节 小水电安全生产标准化概念	55
第二节 小水电安全生产标准化指标内涵	58
第三节 小水电安全生产标准化评审案例	70
第四章 中国绿色小水电的发展	76
第一节 小水电对生态环境的影响	76
第二节 中国绿色小水电的发展举措	77
第五章 中国小水电发展的科技支撑	99
第一节 中国小水电科技发展历程	99
第二节 中国小水电科技发展存在的问题	104
第三节 中国小水电科技发展关键布局	106
第四节 中国小水电科技发展路线图	111

第六章 中国小水电参与“一带一路”倡议	114
第一节 “一带一路”倡议下中国小水电国际合作与开发	114
第二节 “一带一路”沿线国家小水电可持续性评价	117
第三节 评价结果分析	126
第四节 政策建议与结论	132
第七章 结论与展望	136
参考文献	145
后记	154

中国小水电的历史发展与成就

小水电是指利用河川水能发电且其发电装机规模在水利水电工程分等中属于低等别的小规模水力发电站。在中国，小水电的装机容量界限还与农村经济的发展和农村用电水平有关，甚至还把与小水电站有关的农村电网统称为小水电，故在中国，小水电又称为农村水电。随着全国小水电装机容量的不断增加，各个时期的分等标准也不相同。目前中国定义单站装机容量 50MW 及以下为小水电。小水电作为国际公认清洁可再生能源，是产出投入比相对较高的能源，其水库水电站的能源回报率通常为 205~280，径流式水电站为 170~267，而风能、生物质能和太阳能的产出投入比分别仅为 18~34、3.5 和 3~6 (Luc Gagnon et al., 2002)。小水电站工程淹没影响范围和移民问题相对较小，对生态环境影响可控，建成后运营、维护较为简单，既可独立运行，也易接入主干电网，产出投入比相对较高。小水电作为分布式电源，对于具有丰富水能资源且短期内无法接入主干电网的农村和偏远地区，无疑是提供生产生活用电、减少穷困、优化能源结构、保护生态环境、降低碳排放的重要选项。

第一节 中国小水电的发展历程

一、小水电资源发展现状

中国的小水电资源总量居世界第一位，据初步统计，全国总的水能理论蕴藏量为 6.7 亿 kW，约占世界总量的 1/6。其中，技术可开发量约为 5.42 亿 kW，小水电技术可开发量约为 1.28 亿 kW。大陆地区小水电资源点多面广、星罗棋布，遍及 31 个省（自治区、直辖市）的 1715 个县（市、区）。

截至 2018 年年底，全国共有农村水电站 46515 座，小水电装机容量为 8043.5 万 kW（图 1-1），占全国水电总装机容量的 22.8%，占全国电力总装机容量的 4.2%；年发电量为 2345.6 亿 kW·h，占全国年总发电量的 3.3%；农村水电装机容量占全国农村水能资源技术可开发量的 62.8%，农村水电年发电量占农村水能资源技术可开发量的 43.8%，开发率较高的省级行政区主

要集中在我国东部、东南沿海和中部地区（水利部，2018）。

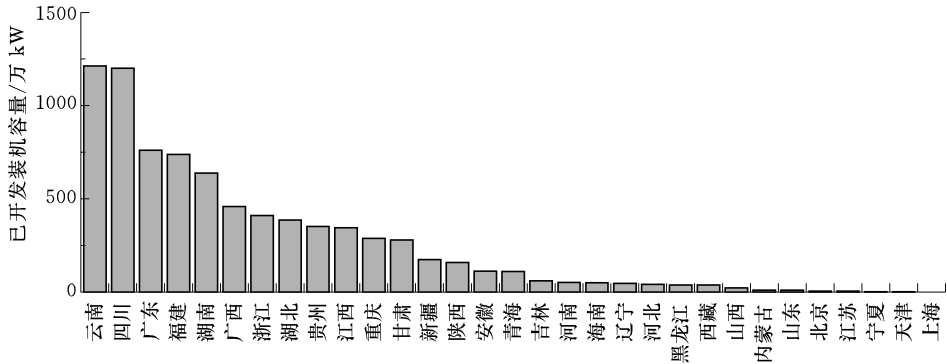


图 1-1 2018 年中国各省级行政区已开发小水电装机容量 (单位: 万 kW)

二、中国小水电发展历程

任何事物的发展都不是一蹴而就的，中国小水电的发展也是如此。根据不同时期水电的发展规模、技术水平及发展理念，我国小水电大致可分为五个发展阶段，见表 1-1。

表 1-1 中国小水电发展阶段划分

阶段分布	阶段特征
第一阶段 (1949 年以前)	处于萌芽阶段，整体水平落后
第二阶段 (1949—1979 年)	逐渐步入正轨，发展进步明显
第三阶段 (1980—1999 年)	发展迅猛，步入农村电气化时代
第四阶段 (2000—2010 年)	呈现融资多样化，整体平稳发展
第五阶段 (2010 年以后)	强调水电绿色转型，综合协调发展

(一) 第一阶段：萌芽时期 (1949 年以前)

中国是世界上最早利用水力的国家之一。早在西汉王朝后期，中国就有了水力舂米的记载。但在近代，中国的水力发电技术却已然落后于世界，一些发达国家早在 19 世纪 80 年代就已开始利用水力发电。但我国直到 1910 年，由云南民间资本集资兴建的石龙坝水电站开工建设，才正式开创了中国人自行施工建设水电站的历史，如图 1-2 所示。

石龙坝水电站初始装机容量 480kW，电站建设按国际招投标程序进行，工程设计方面聘请了两名德国工程技术人员进行设计和工程指导；施工方面，机电设备由德国福伊特和西门子公司制造，拦水坝、引水渠、发电厂房等水工建筑物由中国人自行施工。整个工程由云南省一些爱国的民族资本家及积极分



图 1-2 石龙坝水电站内景

子进行建设和运行，工程还同步建成了当时我国电压等级最高（23kV）、线路最长（34km）的输变电线路，是真正意义上中国第一座水电站。经过数十年的发展，先后建成 4 个发电车间，装机数量最多达 9 台（1958 年），总装机容量 8920kW，为促进和推动云南经济、社会、文化发展做出了重要贡献。石龙坝水电站的正式建成开启了中国水电事业艰难而辉煌的征程。

1923 年，四川泸县附近的洞窝水电站正式开工建设，并于 1925 年建成发电。该水电站最初安装了 1 台 175kW 的水轮发电机组，继而兴建了蓄水库并同时增装第 2 台 300kW 机组，1943 年改建为 2 台 500kW 机组，至今仍在运行，是中国第一个自行设计施工的小水电站（《中国水利百科全书》编辑委员会，2006）。

1913 年，西藏十三世达赖喇嘛派人赴英国学习水力发电技术，并在 1923 年于印度订购了 2 台 125kW 的水轮发电机组运回西藏，经现场勘测后选择拉萨北郊的夺底沟站址修建水电站，该电站于 1928 年建成发电。因电站设备质量低劣且管理不善，于 1944 年停止运行。1951 年西藏和平解放后，随着现代电力工业逐渐发展壮大，人民政府于 1955 年重建了夺底沟水电站，且装机容量增至 660kW。

这一阶段，我国小水电总体呈现“电站数量很少、装机容量极低、施工较为简易”的特点，大部分小水电设施依靠国外进口，国内尚未掌握小水电的核心技术，发展水平与同时期欧美国家相比处于相对原始状态，中国小水电的发展艰难起步。

（二）第二阶段：发展快速上升期（1949—1979 年）

新中国成立后，百废待兴，水电经济也和其他行业经济一样迎来了快速发

展的新时代。中国共产党的领导和社会主义制度的确立为我国小水电发展奠定了政治基础。

1. 小水电数个“第一批”的诞生

早在20世纪50年代制定的《全国农业发展纲要》就已经提出：“凡是能够发电的水利工程，应当尽可能地同时进行中小型的水电建设，以逐步解决农村用电要求。”1950年8月，燃料工业部在北京召开了第一次全国水力发电工程会议，朱德总司令亲临大会并作了重要指示，强调了水电建设的重要性，提出了大、中、小结合的建设方针。会议在分析当时水电事业现状的基础上提出了有计划、有步骤地发展中国水电事业的方针任务，并作出决议报告政务院。1953年，水利部设置了小水电的专管机构。1955年1月，全国水利会议在北京召开，会议提出积极试办小型水电站，并就试办小水电提出了具体要求。1958年，水利部在四川崇庆、福建永春、山西洪洞举办了三个小水电训练班，学习有关政策和水工、水机、电气技术，为全国培训了第一批建设小水电的力量。同年8月，全国第一次农村小水电会议在天津召开，提出了“以小型为主，生产为主，社办为主”的建设方针，并提倡有条件的省先抓5个县和100个社的农村初步电气化。截至1960年年底，全国共建成小水电站8975座，总装机容量252MW。

2. 小水电“因地制宜，稳步发展”

1960年2月，水电部在北京召开了全国电力工业会议，刘澜波副部长在报告中提出了“水火并举，因地制宜”“大、中、小并举，因时因地制宜”的方针。同年3月，毛泽东主席亲临浙江金华双龙水电站（装机容量512kW）视察，指示“浙江水利资源丰富，搞水电大有前途”。1963年2月，国务院农林办公室同意水电部成立农村电气化局。1963—1965年，国家安排投资计划2.4亿元，提出了“以商品粮基地为重点，以排灌用电为中心，以电网供电为主，电网和农村小型电站并举”的农村电气化发展方针。在此期间，我国小水电得到了稳定的发展。

3. 小水电“不畏挫折，砥砺前行”

1969年10月，在福建永春召开的全国小水电现场会推介了永春县自力更生兴建小水电站的经验。会后及时制定了一系列扶持政策，包括在建设上发动县、社、队三级办电，实行“谁建、谁管、归谁所有”的政策；规划上提出了“从山区到平原，从网外到网内，充分利用当地水力资源兴建小水电，实行“治水办电相结合”的办法；资金上实行“以电养电”政策，并由国家补助20%；在主机设备供货方面，取消国家统配，实行各省自产留用、国家补助主要原材料的办法；在管理体制上实行“建设和管理统一”“发电和供电统一”，以保护各级办电者的利益；同时，还制定了保护小水电供电区的并网办法（童